

Brunon LEJDY, Marcin A. SULKOWSKI
POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA, ZAKŁAD ELEKTROENERGETYKI

Poprawa bezpieczeństwa eksploatacji oraz niezawodności zasilania w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia

Dr hab. inż. Brunon LEJDY

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej. Od początku swojej działalności naukowej zajmuje się zagadnieniami dotyczącymi urządzeń elektrycznych, ochrony przeciwporażeniowej w urządzeniach niskiego i wysokiego napięcia oraz uziemień. Autor książki na temat instalacji elektrycznych w obiektach budowlanych oraz wielu artykułów opublikowanych w czasopiśmie naukowo – technicznych oraz w materiałach konferencyjnych.



e-mail: blejdy@pb.edu.pl

Dr inż. Marcin Andrzej SULKOWSKI

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej. Od 1999 roku pracuje w Zakładzie Elektroenergetyki na Wydziale Elektrycznym Politechniki Białostockiej, gdzie w 2008 roku uzyskał stopień doktora za pracę pt.: „Metoda analizy niezawodności technicznych środków ochrony przeciwporażeniowej w urządzeniach elektrycznych niskiego napięcia”. W pracy naukowej zajmuje się m.in. zagadnieniami związanymi z szeroko rozumianą ochroną przeciwporażeniową oraz eksploatacją instalacji elektrycznych.



e-mail: masulek@pb.edu.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono możliwości poprawy bezpieczeństwa eksploatacji oraz niezawodności zasilania w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia poprzez zastosowanie w nich urządzeń monitorujących RCM. Scharakteryzowano korzyści jakie wynikają ze stosowania RCM w przypadku tzw. „starych” instalacji elektrycznych, wybudowanych zgodnie z przepisami obowiązującymi przez 2000 rokiem, a także opisano w jaki sposób zastosowanie urządzeń monitorujących jest w stanie poprawić niezawodność dostaw energii dla użytkowników tych instalacji.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo eksploatacji, ochrona przeciwporażeniowa, niezawodność zasilania, monitorowanie prądu różnicowego.

The improvement of safety and reliability use of supply in low voltage electric installations

Abstract

The paper presents possibility of improvement of the reliability electric power supply and the reliability electric shock protection systems in low voltage installation through use the residual current monitoring device RCM. The residual current monitoring devices are new elements in the electric shock protections, which can be used in IT systems (according to PN-EN 60364-4-41). The article analyses the possibility of use of such elements (devices) also in TN and TT systems. In the reliability analysis there is used the Reliability Block Diagrams method. Quantity analysis based on the worked out of reliability models of protective measures, are described by formulae 2 and 3. The diagram of the electric installation with the applied device monitoring RCM presents Fig. 1, and the intensity of fault of electric installations elements is shown in the Table 1. This article presents also the waveform of the function reliability electric shock protections in the TN and TT systems (Fig. 2 and 3) and the sensitivity analysis of these functions (Fig. 4).

Keywords: use safety, electric shock protections, reliability of supply, residual current monitoring.

1. Wstęp

Stała poprawa bezpieczeństwa eksploatacji instalacji oraz poprawa niezawodności zasilania jest jednym z priorytetów, jakie są stawiane instalacjom i sieciom elektroenergetycznych. Wymaga to stosowania w instalacjach elektrycznych najnowszych rozwiązań technicznych, jakie mogłyby poprawić bezpieczeństwo ich eksploatacji, przy zapewnieniu jednocześnie ciągłości zasilania w energię elektryczną. Problem zapewnienia ciągłości zasilania ma szczególne znaczenie w przypadku zasilania odbiorców, u których przerwa w zasilaniu mogłaby powodować znaczne straty materialne, a w przypadku obiektów medycznych, nawet stanowiąc zagrożenie dla zdrowia i życia pacjentów. Jednak w ostatnich latach, także i inni odbiorcy energii elektrycznej np. odbiorcy indywidualni, oczekują aby zasilanie w energię elektryczną odbywało się bez przerw, a w przypadku wystąpienia awarii, była ona usunięta możliwie najszybciej.

Wśród nowych urządzeń, podanych w normie [7] umożliwiających poprawę niezawodności zasilania w energię elektryczną, jak i jednoczesną poprawę niezawodności technicznych środków ochrony przeciwporażeniowej w instalacjach elektrycznych są urządzenia RCM (Residual Current Monitoring) monitorujące wartość prądu różnicowego.

2. Urządzenia ochronne w sieci niskiego napięcia

Każda instalacja powinna być wyposażona w odpowiednie urządzenia ochronne, zabezpieczające odbiorniki i przewody od skutków zwarć i przeciążeń oraz pracujące w ochronie przed dotykiem pośrednim. Najczęściej spotykanymi urządzeniami ochronnymi stosowanymi w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia są:

- wyłączniki instalacyjne (nadprądowe),
- bezpieczniki instalacyjne,
- wyłączniki różnicowoprądowe,

przy czym wyłączniki różnicowoprądowe nie mogą pracować w instalacji elektrycznej samodzielnie, gdyż nie reagują one na prądy uszkodzeniowe (przeciążeniowe lub zwarciove), które płyną jedynie w przewodach roboczych. Wymaga się, aby w każdym obwodzie z wyłącznikiem różnicowoprądowym było zastosowane również urządzenie ochronne przetężeniowe, którym może być wyłącznik lub bezpiecznik instalacyjny

Cechą charakterystyczną wymienionych urządzeń ochronnych jest to, że w przypadku wykrycia uszkodzenia w chronionej instalacji powodują wyłączenie zasilania. W przypadku uszkodzeń mogących stworzyć zagrożenie dla użytkowników oraz chronionej instalacji, działanie takie jest uzasadnione i wskazane. Jednak część uszkodzeń występujących w instalacjach elektrycznych ma charakter parametryczny, czyli są wynikiem następującego powoli procesu degradacji cech elektrycznych chronionych urządzeń. Uszkodzenia takie nie powodują nagłego pogorszenia bezpieczeństwa ich eksploatacji, jednak po przekroczeniu pewnej wartości granicznej, zastosowane w instalacji urządzenia ochronne nie pozwalają na użytkowanie instalacji elektrycznej. Przykładem takiego uszkodzenia jest postępująca degradacja właściwości izolacji stosowanej w instalacji oraz objętych ochroną urządzeniach elektrycznych. Degradacja właściwości izolacyjnych izolacji powoduje stały wzrost wartości prądu upływowego jaki występuje w instalacji. W przypadku powszechnie stosowanych, w ostatnich kilkunastu latach, wysokoczułych wyłączników różnicowoprądowych o znamionowym prądzie różnicowym $I_{\Delta N} = 30$ mA, prąd upływowy w instalacji elektrycznej powodujący zadziałanie tego urządzenia ochronnego zawiera się w zakresie $15 \text{ mA} \leq I_{\Delta} \leq 30 \text{ mA}$. Po przekroczeniu przez prąd upływowy wartości prądu różnicowego zadziałania wyłącznika, wyłącznik różnicowoprądowy nie pozwoli na załączenie chronionego obwodu, pomimo, że występujący prąd upływowy nie powoduje w danej chwili zagrożenia dla

bezpieczeństwa jego eksploatacji. Powoduje to konieczność wyłączenia z eksploatacji chronionego obwodu do czasu usunięcia usterki, pomimo że z praktycznego punktu widzenia usunięcie usterki mogłoby nastąpić w momencie, gdy wyłączenie zasilania nie spowoduje niedogodności dla użytkowników.

W przypadku instalacji elektrycznych ułożonych na stałe, zlokalizowanie uszkodzenia powodującego wzrost wartości prądu upływowego w instalacji elektrycznej oraz jego usunięcie może być czynnością czasochłonną i wymagającą w niektórych przypadkach wyłączenia zasilania. W skrajnych sytuacjach usunięcie uszkodzenia może się wiązać z koniecznością wymiany oprzewodowania, co jest równoznaczne z całkowitą odbudową instalacji. Jest to czynność wymagająca wcześniejszego przygotowania, podczas którego nie jest wymagane, o ile nie powoduje to wzrostu zagrożenia dla użytkowników, wyłączenia zasilania w instalacji elektrycznej.

Taka sytuacja bardzo często występuje w „starych” instalacjach, w których użytkownicy chcąc poprawić bezpieczeństwo eksploatacji, instalują wyłączniki różnicowoprądowe jako elementy ochrony przeciwporażeniowej uzupełniającej, ryzykując jednocześnie możliwością częstych wyłączeń zasilania spowodowanych zbędnymi działaniami tych urządzeń ochronnych. W instalacjach tych alternatywnym rozwiązaniem względem wysokoczułych wyłączników różnicowoprądowych, jest zastosowanie urządzeń RCM monitorujących prąd różnicowy. Wymagania techniczne dotyczące parametrów technicznych oraz stosowania tych urządzeń zawarte są w następujących aktach prawnych:

- PN-EN 62020:2005 Sprzęt elektroinstalacyjny. Urządzenia monitorujące różnicowoprądowe do użytku domowego i podobnego (RCM) oraz PN-EN 62020:2005/A1 (zmiana do Polskiej normy PN-EN 62020:2005).
- PN-HD 60364-4-41:2007 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przeciwporażeniowa (oryg.)
- PN-EN 60947-2:2009 Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskiego napięcia. Część 2: Wyłączniki
- IEC 60364-5-53 Ed.2: Low-voltage electrical installations – Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment – Protection, isolation, switching, control and monitoring (this document is still under study and subject to change. It should not be used for reference purposes). Document 64/1608/CD, 2007.

Z pośród tych norm szczególne znaczenie ma norma PN-HD 60364-4-41:2007 (oryg.), która w 2009 roku zostanie zastąpiona normą PN-HD 60364-4-41 *Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed porażeniem elektrycznym*. Wprowadza ona możliwość stosowania urządzeń RCM, jako elementu ochrony przeciwporażeniowej w sieciach typu IT. Co prawda zgodnie z wprowadzonym arkuuszem 41 normy PN-HD 60364-4, urządzeń tych nie można stosować jeszcze w ochronie przeciwporażeniowej w najpowszechniej stosowanych sieciach TN i TT ale zastosowanie dodatkowo tych urządzeń, obok podstawowych urządzeń ochronnych może poprawić niezawodność środka ochrony przeciwporażeniowej, zwiększając bezpieczeństwo eksploatacji tych instalacji.

Podstawowym zadaniem tych urządzeń w sieci IT jest wskazanie pojawienia się pierwszego zwarcia części czynnej z częścią przewodzącą dostępną lub ziemią poprzez uruchomienie sygnalizacji akustycznej i/lub wizualnej podtrzymywanej przez cały czas trwania uszkodzenia. Jeżeli zastosowano sygnał akustyczny i wizualny, dopuszczalne jest, aby sygnał akustyczny był skasowany, lecz sygnał wizualny powinien być kontynuowany tak długo jak długo trwa uszkodzenie. Ponadto wybrane modele RCM mają możliwość współpracy z zastosowanymi w instalacji urządzeniami ochronnymi. Współpraca ta polega na przesłaniu do urządzenia ochronnego sygnału na wyłączenie chronionego obwodu po przekroczeniu nastawionego na RCM prądu różnicowego zadziałania, przy czym ten prąd zadziałania (wyłączenia obwodu) może mieć inną wartość niż prąd zadziałania sygnalizacji wystąpienia uszkodzenia.

Należy zwrócić uwagę, że np. w Danii gdy nie jest możliwe zastosowanie RCD, np. w przypadku gdy prąd różnicowy wynikający z eksploatacji obwodu objętego ochroną jest większy niż znamionowy różnicowy prąd zadziałania RCD, stosuje się wyłączniki z urządzeniem różnicowoprądowym. Na przykład RCM zgodnie z IEC 62020 może być wykorzystany jako wyłącznik różnicowoprądowy monitorujący (MRCD) zgodnie z IEC 60947-2, Annex M [4]. W takim przypadku wyłącznik powinien odłączać przewód zewnętrzny (fazowy) i neutralny.

Zastosowanie tego typu rozwiązania byłoby celowe także w warunkach Polskich, gdzie dużej części obecnie eksploatowanych instalacji elektrycznych niskiego napięcia, z uwagi na stosowane materiały izolacyjne, prądy upływowe wynikające z eksploatacji tych instalacji mogą przekraczać wartość $I_{\Delta} = 15$ mA. Eksploatacja takiej instalacji wiązałaby się z ryzykiem częstych przerw w zasilaniu, spowodowanych zadziałaniem wyłącznika różnicowoprądowego. Jednak tolerowanie sytuacji, w której rezygnuje się ze stosowania wyłączników różnicowoprądowych, jest jednoznaczne z akceptacją sytuacji, w której dopuszcza się na eksploatację instalacji o poziomie bezpieczeństwa niższym, niż to byłoby możliwe przy stosowaniu powszechnie dostępnych nowoczesnych rozwiązań technicznych.

3. Poprawa niezawodności środka ochrony w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia

W ochronie przeciwporażeniowej w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia urządzenia ochronne powinny w wymaganym czasie (podanym w przedmiotowych aktach prawnych) wyłączyć zasilanie obwodu lub grupy obwodów, w następstwie zwarcia części czynnej z dowolną częścią przewodzącą dostępną. Głównymi urządzeniami ochronnymi stosowanymi w tej ochronie, są urządzenia ochronne nadprądowe (wyłączniki instalacyjne oraz bezpieczniki instalacyjne) lub urządzenia ochronne różnicowoprądowe (wyłączniki różnicowoprądowe).

Ze względu na to, że środek ochrony przeciwporażeniowej, jakim jest samoczynne wyłączenie zasilania jest stosowany od wielu dziesięcioleci, większość obecnie eksploatowanych instalacji elektrycznych, w których stosowany jest ten środek ochrony przeciwporażeniowej, budowana była zgodnie ze wymaganiami wówczas obowiązującymi. Powoduje to, że w instalacjach elektrycznych wybudowanych przed 2000 rokiem, wyłączniki różnicowoprądowe, na etapie wykonywania instalacji elektrycznej, stosowane były sporadycznie, a stosowanie ich na etapie modernizacji instalacji, jako elementu ochrony przeciwporażeniowej uzupełniającej (w układzie TN-C), nie zawsze też jest możliwe.

Elementem, umożliwiającym poprawę bezpieczeństwa eksploatacji takich instalacji jest urządzenie monitorujące RCM, wyposażone w funkcję współpracy z wyłącznikami instalacyjnymi zastosowanymi w instalacji elektrycznej. Możliwość nastawienia wartości prądu różnicowego powodującego zadziałanie alarmu jak i powodującego przesłanie sygnału „na wyłączenie” wyłącznika zastosowanego w instalacji, umożliwia ominięcie problemów wynikających z występowania w instalacji elektrycznej prądów upływowych. Zastosowanie urządzenia RCM w instalacji elektrycznej, wymaga jednak przeprowadzenia pomiarów rezystancji izolacji oraz pomiarów wartości prądów upływowych w obwodach mających podlegać monitoringowi przez RCM, a zastosowane urządzenia RCM powinno być zabezpieczone w taki sposób, aby postronny użytkownik instalacji elektrycznej nie miał możliwości ingerencji w wartości prądów różnicowych zadziałania urządzenia RCM. Korzyści wynikające z poprawy bezpieczeństwa eksploatacji instalacji, rekompensują te dodatkowe działania.

W celu sprawdzenia możliwości poprawy niezawodności środka ochrony przy pomocy urządzenia monitorującego RCM, autorzy przeprowadzili analizę umożliwiającą ilościową ocenę uzyskanych efektów. Analizę tę przeprowadzono dla instalacji wykonanej w układzie TN-C oraz TT. Przykładowo schematy instalacji elektrycznych wykonanej w układzie TN-C i TT, wraz z zastoso-

wanym urządzeniem monitorującym RCM, przedstawiono na rysunku 1.

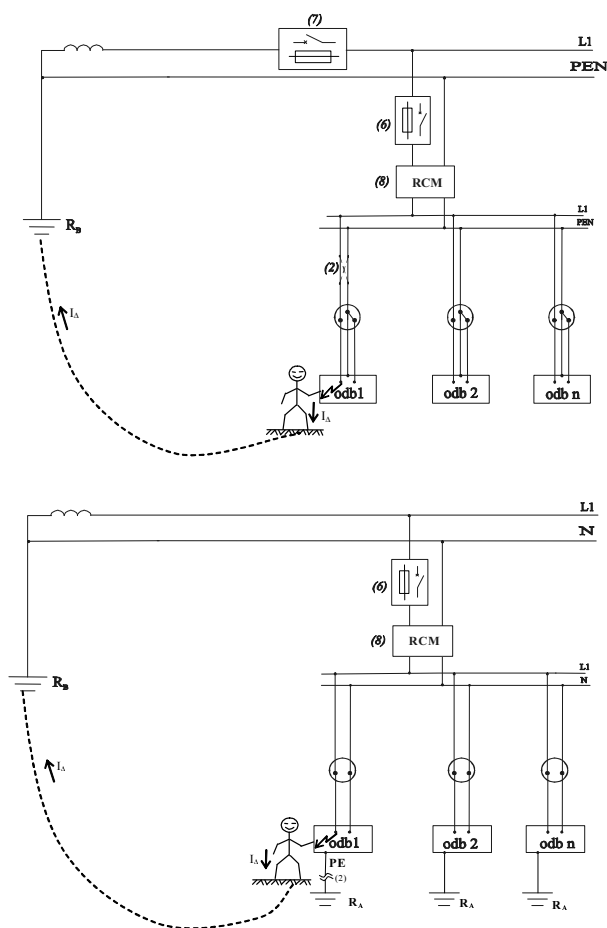
Do analizy niezawodności środka ochrony przeciwporażeniowej zastosowano metodę bloków niezawodności. Metodę tę zastosowano przy założeniu, że każdy element struktury niezawodnościowej analizowanego układu ochrony, może spełniać wymaganą funkcję w danych warunkach i w ustalonym przedziale czasu $(0, t)$ z pewnym prawdopodobieństwem, które możemy opisać ogólną zależnością:

$$R(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(u) du\right] = \exp[-\lambda(t)] \quad (1)$$

gdzie:

$R(t)$ - prawdopodobieństwo poprawnej pracy elementu struktury niezawodnościowej,

$\lambda(u)$ - intensywność uszkodzeń elementu struktury niezawodnościowej w chwili $t = u$.



Rys. 1. Uproszczony schemat instalacji elektrycznej z zastosowanym urządzeniem monitorującym RCM wykonanej: a) w układzie TN-C, b) w układzie TT (w nawiasach zaznaczono niektóre analizowane w układzie uszkodzenia elementów składowych instalacji)

Fig. 1. The diagram of the electric installation with the applied device monitoring RCM carry out, a) in TN-C system, b) in TT system (it is marked in parentheses some failure of installation elements analyzed in the system)

Na tej podstawie opracowano strukturę niezawodnościową środka ochrony poprzez samoczynne wyłączenie zasilania w analizowanych układach instalacji oraz wyznaczono funkcję niezawodności środka ochrony przeciwporażeniowej z urządzeniem monitorującym zastosowanym w instalacji, zgodnie w przedstawionymi wcześniej założeniami:

- w instalacji elektrycznej w układzie TN-C.

$$R(t) = 1 - (1 - R_8) \cdot [1 - [1 - R_2 \cdot R_3] \cdot [1 - [1 - [1 - R_5^n]] \cdot (1 - R_6) \cdot (1 - R_7)]] \quad (2)$$

- w instalacji elektrycznej w układzie TT

$$R(t) = 1 - (1 - R_8) \cdot [1 - [1 - R_3 \cdot R_{10}] \cdot [1 - [1 - (1 - R_5^n) \cdot (1 - R_6)]]] \quad (3)$$

gdzie:

n - liczba obwodów (urządzeń) objętych ochroną jednym urządzeniem ochronnym przetężeniowym oraz monitorującym RCM,

R_{2-10} - prawdopodobieństwo poprawnej pracy poszczególnych elementów środka ochrony.

Charakterystyki funkcji niezawodności zamieszczono na rysunku 2 (układ TN-C) oraz rysunku 3 (układ TT).

Na rysunku 2, oprócz charakterystyki dla układu z zastosowanym urządzeniem monitorującym (charakterystyka $R_b(t)$), zamieszczono także charakterystykę niezawodności środka ochrony poprzez samoczynne wyłączenie zasilania w sieci TN-C-S, wykonanego zgodnie z obecnie stosowaną normą [6] (charakterystyka $R_c(t)$) oraz charakterystykę niezawodności środka ochrony w sieci TN-C, bez wprowadzonych proponowanych zmian (charakterystyka $R_a(t)$).

W przypadku instalacji w układzie TT, oprócz charakterystyk niezawodności środka ochrony z zastosowanym urządzeniem monitorującym RCM (charakterystyka $R_b(t)$ oraz $R_c(t)$) zamieszczono także charakterystykę niezawodności środka ochrony poprzez samoczynne wyłączenie zasilania w sieci TT, w której ochrona realizowana jest wyłączenie przy pomocy wyłącznika instalacyjnego (zgodnie z obecnie stosowaną normą [6]) - charakterystyka $R_a(t)$

Wartości intensywności uszkodzeń poszczególnych elementów składowych środka ochrony przyjętych do analizy, wynikają z przeprowadzonych przez autorów badań oraz analizy dostępnej literatury [1,10]. Wyjątek stanowi wartość intensywności uszkodzeń urządzenia monitorującego RCM. W chwili obecnej w literaturze nie ma żadnych informacji dotyczących niezawodności pracy tych urządzeń, dlatego też na tym etapie analizy autorzy przyjęli a priori wartość intensywności uszkodzeń. Przy czym na rys. 4. zamieszczono charakterystykę zmian niezawodności całego środka ochrony w zależności od zmian intensywności uszkodzeń urządzenia monitorującego RCM w zakresie $\lambda_8 = 1 \cdot 10^{-8} \div 1 \cdot 10^{-6}$ 1/h. Wartości bazowe intensywności uszkodzeń poszczególnych elementów składowych środka ochrony przedstawiono w tabelicy 1.

Tab. 1. Wartości intensywności uszkodzeń poszczególnych elementów składowych analizowanego technicznego środka ochrony przeciwporażeniowej przyjętych do analizy przedstawionej na rys. 2

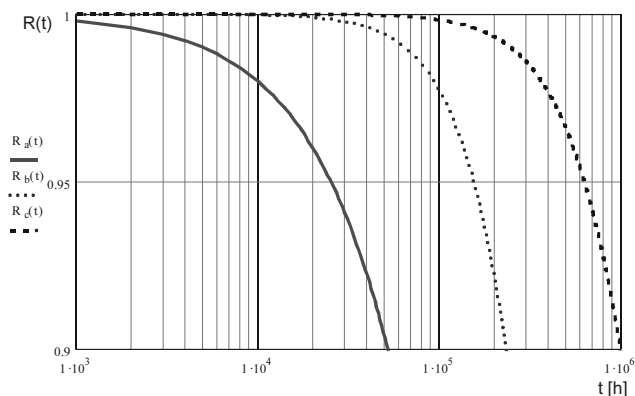
Tab. 1. Intensity values of failures of individual component elements of the analyzed electric shock protection measures taken to analysis introduced in Fig. 2

Nazwa elementu	Oznaczenia na rys. 1.	Parametr, 1/h	$R_a(t)$
1	2	3	4
Ciągłość przewodu ochronnego PE	-	λ_1	$1,89 \cdot 10^{-8}$
Zamiana przewodów fazowych, PEN, PE, N	-	λ_2	$4,68 \cdot 10^{-8}$
Ochrona podstawowa - osłony i obudowy	3	λ_3	$1 \cdot 10^{-7}$
Izolacja robocza	5	λ_5	$1 \cdot 10^{-6}$
Urządzenie ochronne przetężeniowe	6	λ_6	$4,84 \cdot 10^{-6 \cdot 3)}$
Urządzenie ochronne przetężeniowe	7	λ_7	$1 \cdot 10^{-9 \cdot 2)}$ $4,84 \cdot 10^{-6 \cdot 3)}$
Urządzenie monitorujące RCM	8	λ_8	$1,33 \cdot 10^{-6}$
Wyłącznik różnicowoprądowy RCD ¹⁾	-	λ_9	$1,33 \cdot 10^{-6}$
Przerwanie ciągłości przewodu PE (niespełnienie wymagań technicznych przez uziemienie R_A)	10	λ_{10}	$1 \cdot 10^{-8}$

1) Rys 2 - Charakterystyka $R_c(t)$ - sieć TN-C-S z zastosowanym RCD

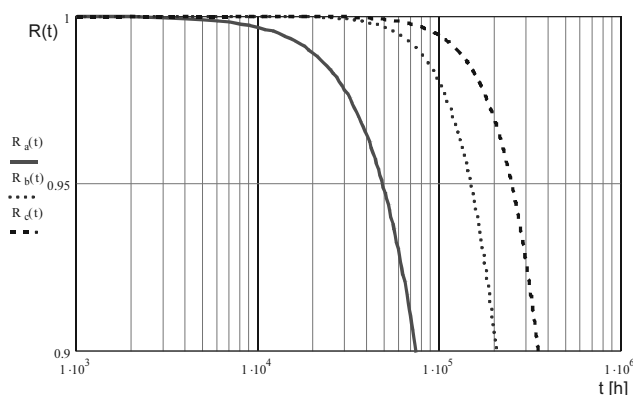
2) Bezpiecznik instalacyjny

3) Wyłącznik instalacyjny



Rys. 2. Zależność $R = f(t)$ dla instalacji w układzie TN i liczbie zasilanych odbiorników $n=5$. $R_a(t)$ – sieć TN-C bez wprowadzonych zmian, $R_b(t)$ – sieć TN-C z urządzeniem monitorującym RCM, $R_c(t)$ – sieć TN-C-S wykonana zgodnie z obecnie obowiązującą normą [6]

Fig. 2. Waveform $R = f(t)$ for the electric installations in TN system with number of device $n=5$. $R_a(t)$ – the TN-C system without change, $R_b(t)$ – the TN-C system with RCM, $R_c(t)$ – the TN-C-S system carried out according to [6]

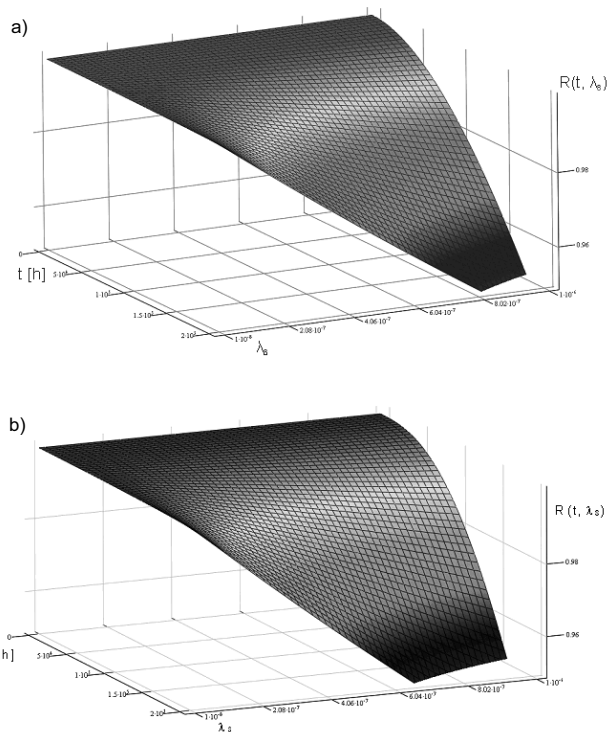


Rys. 3. Zależność $R = f(t)$ dla instalacji w układzie TT: $R_a(t)$ – sieć TT bez zastosowanego urządzenia monitorującego RCM, $R_b(t)$ – sieć TT z urządzeniem monitorującym RCM przy zasilaniu 5 odbiorników, $R_c(t)$ – sieć TT z urządzeniem monitorującym RCM przy zasilaniu jednego odbiornika

Fig. 3. Waveform $R = f(t)$ for the electric installations in TT system: $R_a(t)$ – the TT system without RCM, $R_b(t)$ – the TT system with RCM and number of device $n=5$, $R_c(t)$ – the TT system with RCM and number of device $n=1$

Zastosowanie urządzenia monitorującego RCM, w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia pozwala na widoczną poprawę niezawodności środka ochrony poprzez samoczynne wyłączenie zasilania, umożliwiając jednocześnie zachowanie dotychczasowego poziomu niezawodności zasilania. Poprawa ta dotyczy instalacji „starych”, w których z przedstawionych wcześniej powodów stosowanie wyłączników RCD nie jest możliwe. W przypadku instalacji nowych, wybudowanych zgodnie z obowiązującymi przepisami prawnymi [6], stosowanie wyłączników RCD jest obowiązkowe i stosowanie jednocześnie urządzeń monitorujących RCM nie jest celowe.

Jednak warunkiem poprawy niezawodności i bezpieczeństwa eksploatacji instalacji elektrycznych, jest zastosowanie urządzeń monitorujących RCM, o wysokim poziomie niezawodności. Jak widać na rysunku 4, niezależnie od układu instalacji, intensywność uszkodzeń tych urządzeń, ma duży wpływ na poprawność pracy instalacji i stosowanie w instalacjach urządzeń o wątpliwej jakości, miałyby się z założonym celem poprawy niezawodności zasilania i bezpieczeństwa użytkowników. Przy czym należy pamiętać, że przyjęte do wstępnej analizy wartości intensywności uszkodzeń urządzeń monitorujących RCM, są wartościami przyjętymi a priori. Celowe byłoby przeprowadzenie dodatkowych badań, pozwalających na weryfikację przyjętych założeń, co nie umniejsza roli tych urządzeń w poprawie bezpieczeństwa eksploatacji instalacji.



Rys. 4. Niezawodność środka ochrony przeciwporażeniowej w zależności od zmian intensywności uszkodzeń urządzenia monitorującego RCM ($\lambda_s=1 \cdot 10^{-3}$ do $1 \cdot 10^{-6}$ 1/h) oraz czasu eksploatacji ($t=0$ do $2 \cdot 10^5$ h), a) układ TN, b) układ TT

Fig. 4. The reliability of a electric shock protection measures depending on change of intensity failure ($\lambda_s=1 \cdot 10^{-3}$ to $1 \cdot 10^{-6}$ 1/h) and time of use ($t=0$ to $2 \cdot 10^5$ h), a) TN system, b) TT system

Badania przedstawione w artykule zrealizowano w ramach pracy S/WE/4/08 oraz W/WE/7/09

4. Literatura

- [1] Cantarella G., Carrescia V., Tommasini R.: Quality of Residual Current-Operated Circuit Breakers. ETEP, (1996) Vol.6. No 3.
- [2] Hofheinz W.: Fault Current Monitoring in Electrical Installations. VDE-Verlag, 2004.
- [3] IEC 60364-5-53 Ed.2: Low-voltage electrical installations – Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment – Protection, isolation, switching, control and monitoring (this document is still under study and subject to change. It should not be used for reference purposes). Document 64/1608/CD, 2007.
- [4] IEC 60947-2: Low voltage switchgear and controlgear – Part 2. Circuit breaker.
- [5] IEC 62020: Electrical accessories – Residual current monitors for household and similar uses (RCMs).
- [6] PN-IEC 60364-4-41:2000: Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przeciwporażeniowa.
- [7] PN-HD 60364-4-41: Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed porażeniem elektrycznym (projekt roboczy normy).
- [8] PN-EN 62020:2005: Sprzęt elektroinstalacyjny. Urządzenia monitorujące różnicowoprądowe do użytku domowego i podobnego (RCM).
- [9] PN-EN 62020:2005/A1 (zmiana do Polskiej normy PN-EN 62020:2005): Sprzęt elektroinstalacyjny – Urządzenia monitorujące różnicowoprądowe do użytku domowego i podobnego (RCM).
- [10] Sulkowski M.: Metoda analizy niezawodności technicznych środków ochrony przeciwporażeniowej w urządzeniach elektrycznych niskiego napięcia – rozprawa dokt., Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, Białystok (2008).
- [11] Strona internetowa: www.bender-de.com z dnia 02.04.2009 r.